

APLIKASI MEMBRAN JENIS *SPIRAL-WOUND* PADA PENGOLAHAN LIMBAH CAIR SEKUNDER

SPIRAL-WOUND MEMBRANE APPLICATION IN SECONDARY WASTEWATER TREATMENT

Subriyer Nasir

Staf Pengajar Jurusan Teknik Kimia dan Program Pasca Sarjana Teknik Kimia,
Universitas Sriwijaya

e-mail: subriyer@unsri.ac.id

Abstract

Study on secondary effluent treatment from Kwinana Water Reclamation Plant (KWRP), Western Australia, was done in small scale Reverse Osmosis (RO) system with a capacity of 2000 L/d. The RO system was equipped with two spiral wound membrane module. Effect of operating pressures and build-up of sodium and calcium ions on membrane surface were important subjects in this research. Results of this study showed that permeate flux, rejection percentage of Total Organic Carbon (TOC) and Total Dissolved Solids (TDS) were significantly affected by operating pressure. However, percentage of water recovery could be achieved only around 48% at an operating pressure of 3250 kPa.

Keywords: effluent, membrane, spiral-wound, treatment.

1. PENDAHULUAN

Pengolahan limbah sekunder dalam sebuah sistem *reverse osmosis* (RO) telah menjadi fokus perhatian para ahli dalam dekade terakhir. Di negara-negara maju pemanfaatan kembali air bekas proses dan limbah cair menjadi populer akhir-akhir ini, terutama untuk memenuhi kebutuhan air pertanian dan keperluan industri, atau untuk pengayaan air tanah (Petala *et al.*, 2006). Pemanfaatan air bekas proses dan limbah cair juga mempunyai beberapa keuntungan, seperti: dapat mereduksi jumlah air yang diekstrak dari lingkungan sekaligus menghindarkan dampak pembangunan dan pengembangan unit pensuplai air yang baru (Toze, 2006 dan Miller, 2006).

Sebagai kawasan dengan curah hujan yang rendah, Australia Barat menghadapi masalah yang cukup serius dalam penanganan kebutuhan air untuk pertanian, keperluan domestik, dan sektor industri. Studi yang pernah dilakukan menunjukkan bahwa

pemanfaatan kembali air limbah dalam bentuk efluen sekunder baru mencapai sekitar 10% dari total air limbah yang ada (Anderson, 1996).

Untuk itu telah dilakukan upaya untuk meneliti kemungkinan pemanfaatan limbah cair sekunder dari suatu unit pengolahan limbah yang berada di Kwinana, sebelah selatan Perth, Australia Barat dengan melakukan proses pengolahan dengan sistem RO. Penelitian yang dilakukan juga bertujuan untuk memanfaatkan *permeate* hasil proses pengolahan dengan sistem RO yang dapat digunakan sebagai air pendingin atau air umpan boiler pada industri kimia. Penelitian ini juga melihat pengaruh akumulasi ion natrium dan kalsium di permukaan membran sehingga data yang diperoleh dapat digunakan untuk membangun model empiris untuk akumulasi solut pada permukaan membran (Nasir, 2007).

Pengolahan limbah sekunder melalui proses *recycling* menggunakan sistem RO

memerlukan *pretreatment* yang kompleks karena karakteristik dari limbah itu sendiri. Limbah cair sekunder mempunyai kandungan senyawa organik dan mikroorganisme yang tinggi bila dibandingkan dengan air laut atau air payau (Petala *et al.*, 2006). Selain itu, desalinasi air limbah menggunakan sistem RO harus mempertimbangkan efektivitas dari proses *physicochemical pretreatment*, yang diharapkan dapat mereduksi polutan dan mikropolutan dalam bentuk *suspended solids* yang ada dalam limbah (López-Ramírez, Márquez, dan Alonso, 2002). Proses *pretreatment* yang intensif juga merupakan usaha preventif untuk meminimalisasi *fouling* yang disebabkan oleh mikroorganisme dan padatan tersuspensi (*biofouling*).

Keberadaan *suspended solids* dalam air umpan merupakan faktor substansial yang dapat menyebabkan kegagalan kerja dari sistem membran selama operasi sebuah sistem RO (Sojka-Ledakowicz *et al.*, 1998). Untuk itu, kombinasi antara *pretreatment* dengan mikrofiltrasi (MF) atau ultrafiltrasi (UF) sebelum masuk ke unit RO sangat direkomendasikan untuk *treatment* limbah cair seperti efluen sekunder dari industri baja (Lee, Kwon, dan Moon, 2006).

Meskipun penerapan teknologi RO untuk desalinasi telah mapan sejak beberapa dekade yang lalu, namun aplikasinya dalam pengolahan limbah (efluen) sekunder masih terbatas. Berbagai studi yang dilakukan sebelumnya memperlihatkan bahwa efluen sekunder mempunyai prospek yang cukup baik sebagai sumber air di masa depan. Efluen sekunder yang telah diolah terbukti dapat digunakan sebagai *non-potable water* seperti untuk umpan sistem *cooling tower* (Wijesinghe *et al.*, 1996). Kombinasi antara proses MF, UF, dan RO juga dapat menghasilkan air dengan kualitas tinggi yang dapat digunakan pada industri elektronika (Qin *et al.*, 2005). Berdasarkan perspektif ekonomi, unit biaya produksi air yang diperoleh dari limbah cair dengan metoda RO

relatif cukup rendah dibandingkan dengan produksi dari air laut atau air payau (Madwar dan Tarazi, 2003).

Sejumlah penelitian untuk desalinasi efluen sekunder menggunakan membran jenis *spiral-wound*. Keunggulan membran jenis *spiral-wound* antara lain mempunyai ketahanan yang baik terhadap *fouling*, mudah dibersihkan, mudah dalam proses pergantian (*replacement*), tersedia dalam berbagai variasi material, dan banyak fabrikasi yang memproduksi membran jenis ini (Sojka-Ledakowicz, *et al.*, 1998; Abdel-Jawad *et al.*, 1999; Rodriguez *et al.*, 2002; Sridhar, Kale, dan Khan, 2002; Bódalo-Santoyo *et al.*, 2004; Madwar dan Tarazi, 2003; Suthanthararajan *et al.*, 2004; Petala *et al.*, 2006).

Penelitian pengolahan limbah cair dari industri tekstil yang dilakukan oleh Sojka-Ledakowicz *et al.* (1998) menggunakan dua jenis membran, yaitu RO dan nanofiltrasi (NF). Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa RO mampu mereduksi COD sampai 99,7%. Didapatkan juga prosentase rejeksi dari zat warna hasil pengolahan dengan NF dan RO berturut-turut sebesar 99,4% dan 100%. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kinerja RO lebih baik dari NF. Tetapi NF lebih efektif dari RO dalam menurunkan intensitas warna dari limbah tekstil.

Pada penelitian lainnya, Abdel-Jawad *et al.* (1999) menunjukkan bahwa limbah cair dengan salinitas yang rendah merupakan sumber air dengan kualitas baik. Untuk sistem RO yang menggunakan membran jenis *spiral-wound* dan dioperasikan pada tekanan 9 bar didapatkan prosentase rejeksi garam antara 98,5-99% pada *water recovery percentage* sebesar 17-21% (untuk tiga modul membran jenis *spiral-wound* dalam sebuah *vessel*). *Permeate* yang dihasilkan mempunyai kualitas yang sangat baik untuk *non-potable water* serta bebas virus dan bakteri. Analisis ekonomi yang dilakukan Rodriguez *et al.* (2002) juga menyimpulkan

bahwa limbah cair dapat dimanfaatkan sebagai sumber *non-potable water* dengan biaya yang terjangkau.

Sridhar, Kale, dan Khan (2002) menggunakan RO skala *pilot plant* untuk pengolahan limbah cair dari industri minyak sayur. Dua parameter yang diperiksa dalam eksperimen mereka yaitu tekanan umpan dan *Total Dissolved Solids* (TDS). Pada komposisi asli dari efluen dan tekanan feed 55,2 bar, rejeksi TDS mencapai 99,4% dan COD sekitar 98,2%, diikuti penghilangan warna dan penurunan BOD secara signifikan dicapai pada *fluks* sebesar 52,5 L/(m².jam). *Fluks* dan prosentase rejeksi polutan meningkat dengan peningkatan *trans-membran pressure* pada konsentrasi umpan yang konstan. Sebaliknya akan menurun dengan kenaikan konsentrasi *feed*. Dapat disimpulkan bahwa RO sangat cocok untuk pengolahan efluen dengan konsentrasi TDS mencapai 52,21 mg/L.

Bódalo-Santoyo *et al.* (2004) menunjukkan bahwa RO juga mempunyai kemampuan untuk menurunkan konsentrasi polutan dari limbah cair sintesis yang mengandung ammonium sulfat, sianida, dan acrylonitril. Membran menunjukkan kinerja yang sangat baik dengan kemampuan mereduksi ion sulfat lebih dari 99%. Sedangkan prosentase rejeksi untuk spesies non-ion seperti acrylonitril hanya antara 10,5 dan 28,8%. Hal ini disebabkan karena karakteristik RO yang tidak dapat menghilangkan zat organik dengan berat molekul rendah. Untuk itu disarankan untuk mengoksidasi acrylonitril menjadi ion lain terlebih dahulu. Selain itu, ammonium dan sianida tidak dapat dieliminasi pada *single step operation*. Prosentase rejeksi ion-ion tersebut tergantung pada pH limbah yang diolah.

Dalam penelitian dengan limbah cair hasil penyamakan menggunakan sistem RO dengan kapasitas 20.000 L/hari, rejeksi TDS lebih besar dari 98% dengan *maximum water*

recovery percentage sebesar 78% (Suthanthararajan *et al.*, 2004). Rendahnya prosentase pemulihan air ini lebih disebabkan oleh pori membran yang tersumbat oleh endapan kalsium dan magnesium, *scales*, senyawa kompleks anorganik, serta keberadaan zat warna dan tannin dalam contoh limbah cair yang digunakan.

Penelitian yang dilakukan oleh Lee, Kwon, dan Moon (2006) terhadap limbah cair pada industri baja menggunakan membran RO dan NF menunjukkan bahwa pada tekanan 2.000 kPa dan suhu 25°C, prosentase pemulihan air hampir mencapai 100% sedangkan untuk NF hanya 40%. Didapatkan juga bahwa *fluks permeat* untuk membran NF adalah sekitar dua kali lebih besar dari RO. Selain itu foto-foto SEM menunjukkan akumulasi partikel logam seperti Fe, Cu, Cr, dan Al pada permukaan dua jenis membran tersebut. Hasil image EDX menunjukkan tidak ada ion kalsium tertahan pada permukaan membran NF setelah 600 menit.

Pada penelitian ini telah dicoba untuk melakukan pengolahan limbah cair (efluen) sekunder menggunakan RO skala kecil untuk melihat kualitas *permeat* yang dihasilkan. Studi juga diarahkan untuk melihat pengaruh ion natrium dan kalsium pada kinerja membran dan akumulasi (*build-up*) dari *solut* pada permukaan membran.

2. METODA

Penelitian yang dilakukan adalah eksperimen laboratorium menggunakan sistem RO dengan kapasitas 2.000 L/hari. Unit RO yang digunakan dilengkapi dengan modul membran jenis *spiral-wound*. Sampel berupa limbah cair sekunder berasal dari Kwinana Water Reclamation Plant (KWRP) yang terletak kira-kira 35 km di selatan Perth, Australia Barat yang ditempatkan pada tangki dengan volume 1.000 L. Tekanan operasi yang digunakan berkisar antara 1.250 sampai 3.250 kPa dan waktu operasi selama 1 jam.

Untuk menganalisis kandungan ion natrium dan kalsium dalam *permeat* dan konsentrasi hasil pengolahan limbah cair digunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) Merek Varian SpectrAAS type 110 sesuai dengan prosedur standar APHA, AWWA, dan WEF (1992). TDS dan pH diukur menggunakan pH meter Hann type H9811. Konduktivitas diukur menggunakan *conductivitymeter* Yokogawa SC 82. Turbiditas diukur menggunakan *microprocessor turbidity* merek Hanna type HI 93703.

Karakteristik Limbah Cair

Karakteristik limbah cair yang digunakan tertera pada Tabel.1.

Terlihat bahwa sampel mempunyai turbiditas dan *Total Organic Carbon* (TOC) yang cukup tinggi, dengan kandungan ion natrium dan kalsium berturut-turut sebesar 114,6 dan 22,19 mg/L. Keberadaan ion natrium dan

kalsium turut berperan dalam akumulasi (*build-up*) ion di permukaan membran yang dapat menyebabkan terjadinya *fouling*.

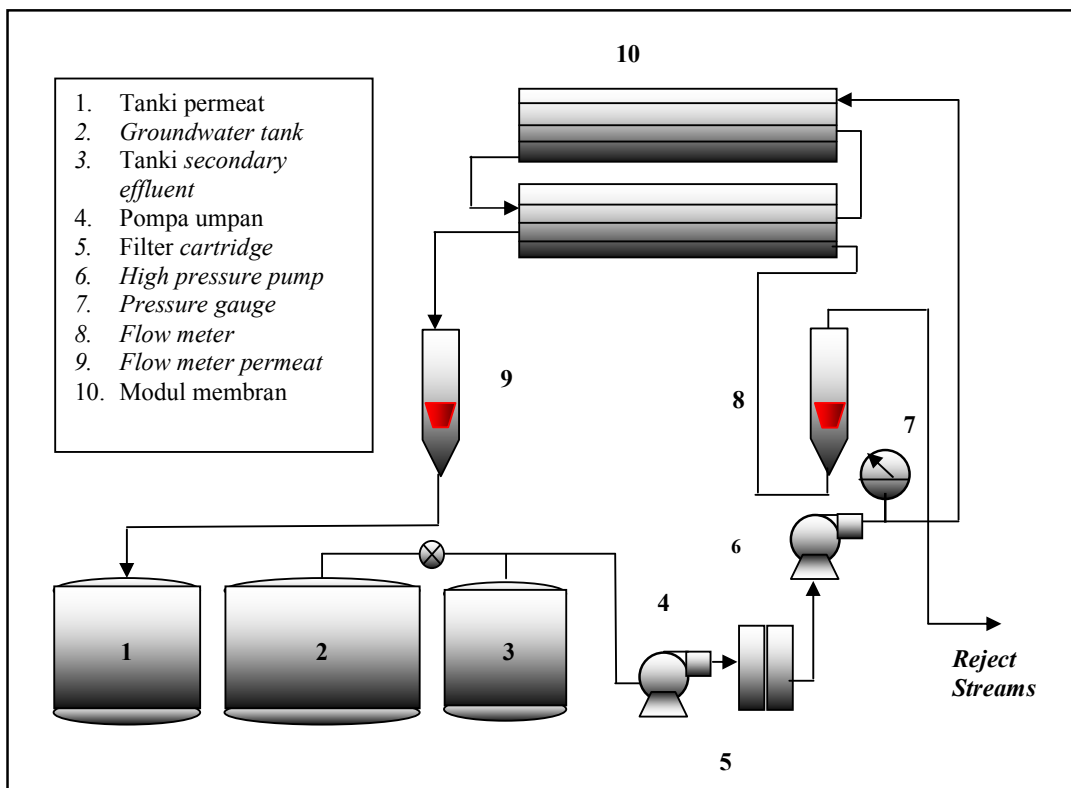
Tabel 1. Karakteristik efluen sekunder dari Kwinana WWTP

Parameter	Unit	Nilai
pH	-	6,3-6,7
TDS	mg/L	350-400
Konduktivitas	µS/cm	768-1113
Turbiditas	NTU	4,89
TOC	mg/L	6,03
Ion natrium	mg/L	114,6
Ion kalsium	mg/L	22,19
Besi	mg/L	0,6028
NH ₄ sebagai N	mg/L	4,74

Selain itu, senyawa-senyawa organik dan mikroorganisme dalam air limbah akan menyebabkan terjadinya *biofouling* pada permukaan membran yang dapat menurunkan kinerja membran.

Skema Peralatan dan Sistem Proses

Skema peralatan yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema rangkain peralatan desalinasi

Limbah cair efluen dari tangki (3) dialirkan dengan menggunakan pompa (4) melalui sistem filter *cartridge* (5) untuk membersihkan kontaminan yang mungkin terkandung dalam umpan. Selanjutnya cairan ditekan dengan menggunakan *high pressure pump* (6) menuju modul membran (10). Konsentrat diukur debitnya menggunakan *flow meter* (8). *Permeat* yang diperoleh ditampung pada tangki berkapasitas 1.000 L setelah diukur debitnya menggunakan *flow meter* (9).

3. HASIL ANALISIS

Pengaruh Tekanan pada Rejeksi TOC dan TDS

Prosentase rejeksi TOC dan TDS untuk berbagai rentang tekanan operasi ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Prosentase rejeksi TOC dan TDS dalam *permeat*

Tekanan Operasi (kPa)	Rejeksi TOC (%)	Rejeksi TDS (%)
1250	87,25	91,71
1500	93,77	94,29
2000	94,01	97,14
2250	94,18	97,35
2500	94,27	97,56
2750	95,13	97,78

Kinerja membran yang digunakan dalam penelitian ini lebih baik dari membran sejenis yang digunakan oleh Kim dan Hoek (2005). Hasil yang diperoleh Kim dan Hoek (2005) menunjukkan penyisihan TOC mencapai sekitar 70-80%. Sementara, rejeksi TOC dapat mencapai 97% bila digunakan *dual membrane* (MF/RO) seperti yang dilakukan oleh Qin *et al.* (2005).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Suthanhararajan *et al.* (2004), prosentase tertinggi penyisihan TDS untuk limbah penyamakan kulit adalah 98% dan prosentase *recovery* air sebesar 8%. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Sridhar, Kale, dan Khan (2002), prosentase rejeksi TDS sekitar 99,4% dalam penelitian menggunakan efluen yang berasal dari pengolahan minyak sayur.

Pada penelitian ini prosentase TOC dan TDS meningkat dengan tekanan operasi yang diberikan. Sebagai contoh, pada tekanan operasi 1.250 kPa, nilai prosentase TOC dan TDS berturut turut 87,25 dan 91,71%. Nilai-nilai ini relatif rendah dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan dengan bahan baku lain. Hal ini disebabkan karena efluen sekunder kemungkinan mempunyai kadar ion logam terlarut seperti silika dan besi yang akan tertahan pada permukaan membran karena tekanan operasi yang rendah.

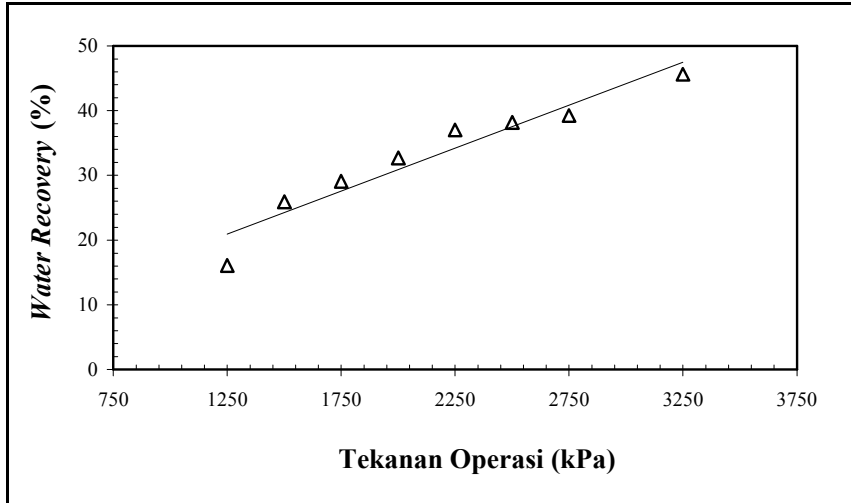
Pengaruh Tekanan terhadap Prosentase Pemulihan Air dan Fluks *Permeat*

Gambar 2 dan 3 menunjukkan pengaruh tekanan operasi terhadap prosentase pemulihan air (*Water Recovery Percentages/WRP*) dan *fluks permeat* (*Jw*) pada tekanan yang berbeda beda. Seperti yang diharapkan, WRP dan *fluks permeat* meningkat dengan peningkatan tekanan operasi. Nilai WRP minimum didapat pada tekanan 1.250 kPa yaitu sekitar 15% dan harga maksimum yang diperoleh adalah sebesar 46% pada tekanan operasi 3.250 kPa. Rendahnya WRP dan *Jw* disebabkan karena keberadaan padatan tersuspensi, karbon organik, dan polutan dalam sampel. Pada prakteknya WRP tidak akan lebih tinggi dari 65% karena adanya kontaminan di dalam limbah cair (Madwar dan Tarazi, 2003).

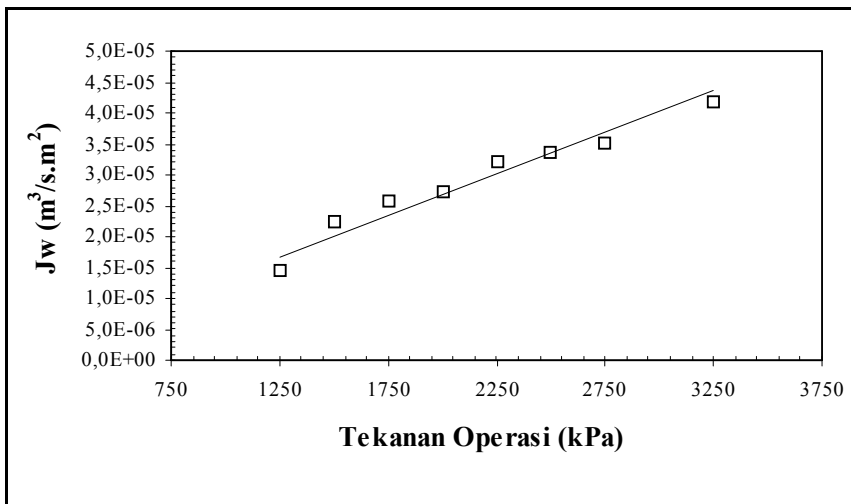
Gambar 4 menunjukkan prosentase rejeksi ion-ion pada tekanan operasi yang berbeda-beda. Terlihat bahwa prosentase rejeksi untuk ion natrium dan kalsium berada pada rentang 88-96% dan 94-99%.

Akumulasi Ion Natrium dan Kalsium

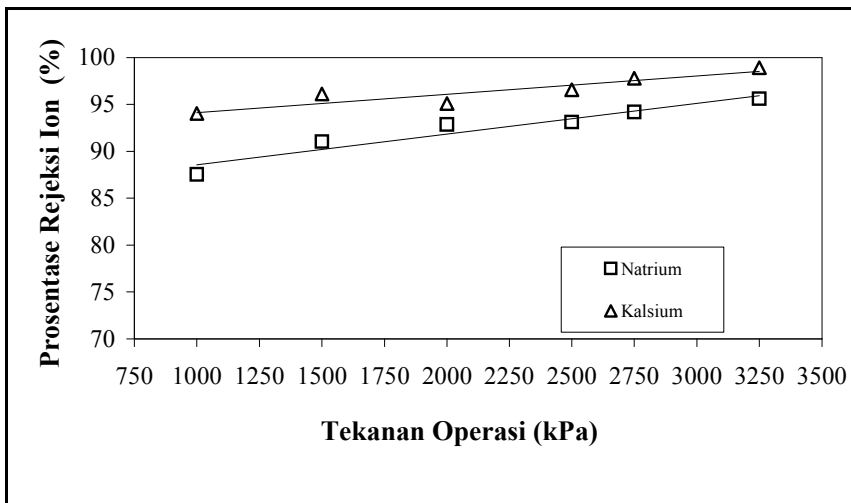
Akumulasi ion natrium dan kalsium pada operasi RO dapat menyebabkan terjadinya *fouling* pada permukaan membran. Untuk itu penelitian ini juga mempelajari pengaruh kedua ion tersebut pada proses *fouling*. Grafik akumulasi ion-ion natrium dan kalsium pada permukaan membran ditampilkan pada Gambar 5.



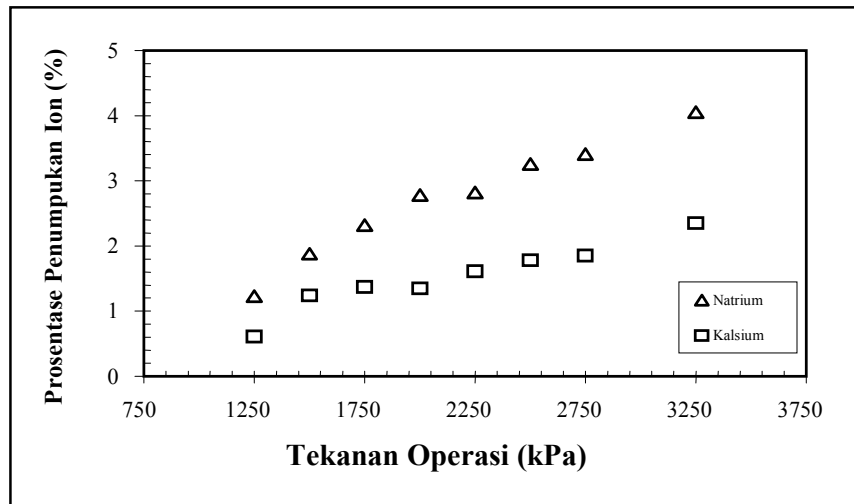
Gambar 2. Grafik pengaruh tekanan operasi terhadap WRP



Gambar 3. Grafik pengaruh tekanan operasi terhadap *fluks permeat*



Gambar 4. Grafik prosentase rejeksi ion pada berbagai tekanan operasi



Gambar 5. Grafik akumulasi ion natrium dan kalsium pada berbagai tekanan operasi

Sebagaimana dapat dilihat *build-up* ion natrium dan kalsium berturut-turut berada pada rentang 1,23-4,05% dan 0,61-2,35%. Namun demikian, baik prosentase *build-up* ion natrium dan kalsium cukup rendah bila dibandingkan dengan uji yang sama terhadap *feed* simulasi (Nasir, 2007). Rendahnya akumulasi ion ini disebabkan oleh rendahnya konsentrasi ion natrium dan kalsium dalam efluen sekunder.

Analisis *Scanning Electron Microscope* (SEM) terhadap membran yang telah digunakan menunjukkan indikasi keberadaan ion-ion logam seperti Fe, Al, Si, S, dan Ti di permukaan membran (Nasir, 2007). Hasil ini menunjukkan tanpa *pretreatment* yang baik, ion-ion logam tersebut akan tertahan pada permukaan membran dengan konsekuensi terjadinya penurunan *fluks permeat*, peningkatan konsumsi energi pada sistem RO, serta peningkatan frekuensi pergantian filter yang pada akhirnya meningkatkan unit biaya.

4. KESIMPULAN

Unjuk kerja membran jenis *spiral-wound* pada pengolahan limbah cair sekunder dalam sebuah RO skala kecil memperlihatkan bahwa WRP dan Jw meningkat secara linier dengan tekanan operasi. Walaupun

demikian WRP dan Jw masih cukup rendah yaitu sekitar 48%. Hal ini disebabkan karena karakteristik efluen sekunder yang mempunyai padatan tersuspensi, karbon organik, dan mineral yang cukup tinggi. Hasil yang diperoleh memperlihatkan bahwa membran jenis *spiral-wound* dapat mereduksi TDS sampai 97,78% dan TOC hingga 95,13%. Pada konsentrasi yang rendah, ion natrium dan kalsium sebagai ion yang dapat menyebabkan *fouling* pada permukaan membran dapat dieliminasi dengan baik oleh membran jenis *spiral-wound*. Dapat disimpulkan bahwa bahwa limbah cair berupa efluen sekunder dari pengolahan limbah dapat diolah menggunakan sistem RO dengan kualitas yang cukup baik bila digunakan sebagai air pendingin. Untuk dijadikan air umpan boiler masih harus dilakukan pengolahan lebih lanjut untuk menghilangkan silika terlarut yang kemungkinan masih lolos atau terikut dalam *permeat*.

DAFTAR PUSTAKA

Abdel-Jawad, M., Ebrahim, S., Al-Tabtabaei, M., dan Al-Shammari, S. (1999). Advanced Technologies for Municipal Wastewater Purification: Technical and Economic Assessment. *Desalination*. 124(1-3). 251-261.

- Anderson, J.M. (1996). A Possible Regulatory Framework for Water Recycling in Australia. *Desalination*. 106(1-3). 331-333.
- APHA-AWWA-WEF (1992). Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, Washington DC.
- Bódalo-Santoyo, A., Gomez-Carrasco, J.L., Gomez-Gomez, E., Maximo-Martin, M.F., dan Hidalgo-Montesinos, A.M. (2004). Spiral-wound Membrane Reverse Osmosis and The Treatment of Industrial Effluents. *Desalination*. 160(2). 151-158.
- Kim, S. dan Hoek, E.M.V. (2005). Modeling Concentration Polarization in Reverse Osmosis Processes. *Desalination*. 186(1-3). 111-128.
- Lee, J.W., Kwon, T.O., dan Moon, I.S. (2006). Performance of Polyamide Reverse Osmosis Membranes for Steel Wastewater Reuse. *Desalination*. 189(1-3). 309-322.
- López-Ramírez, J.A., Márquez, D.S., dan Alonso, J.M.Q. (2002). Comparison Studies of Feedwater Pre-treatment in a Reverse Osmosis Pilot Plant. *Desalination*. 144. 347-352.
- Madwar, K. dan Tarazi, H. (2003). Desalination Techniques for Industrial Wastewater Reuse. *Desalination*. 152(1-3). 325-332.
- Miller, G.W. (2006). Integrated Concepts in Water Reuse: Managing Global Water Needs. *Desalination*. 187(1-3). 65-75.
- Nasir, S. (2007). Membrane Performance and Build-up of Solute During Small Scale Reverse Osmosis Operation. Thesis. Curtin University of Technology, Department of Chemical Engineering.
- Petala, M., Tsiridis, V., Samaras, P., Zouboulis, A., dan Sakellariopoulos, G.P. (2006). Wastewater Reclamation by Advanced Treatment of Secondary Effluents. *Desalination*. 195(1-3). 109-118.
- Qin, J.J., Oo, M.H., Wai, M.N., Lee, H., Hong, S.P., Kim, J.E., Xing, Y., dan Zanga, M. (2005). Pilot Study for Reclamation of Secondary Treated Sewage Effluent. *Desalination*. 171(3). 299-305.
- Rodriguez, J.J., Jimenez, V., Trujillo, O., dan Veza, J.M. (2002). Reuse of Reverse Osmosis Membranes in Advanced Wastewater Treatment. *Desalination*. 150(3). 219-225.
- Sojka-Ledakowicz, J., Koprowski, T., Machnowski, W., dan Knudsen, H.H. (1998). Membrane Filtration of Textile Dyehouse Wastewater for Technological Water Reuse.
- Sridhar, S., Kale, A., dan Khan, A.A. (2002). Reverse Osmosis of Edible Vegetable Oil Industry Effluent. *Journal of Membrane Science*. 205(1-2). 83-90.
- Suthanthararajan, R., Ravindranath, E., Chits, K., Umamaheswari, B., Ramesh, T., dan Rajamam, S. (2004). Membrane Application for Recovery and Reuse of Water from Treated Tannery Wastewater. *Desalination*. 164(2). 151-156.
- Toze, S. (2006). Reuse of Effluent Water-Benefit and Risks. *Agricultural Water Management*. 80(1-3). 147-159.
- Wijesinghe, B., Kaye, R.B., dan Fell, C.J.D. (1996). Reuse of Treated Sewage Effluent for Cooling Water Make Up: a Feasibility Study and a Pilot Plant Study. *Water Science Technology*. 33(10-11). 363-369.